MEDIOS DE UNIÓN DE ESTRUCTURAS METÁLICAS

PICAZO IRANZO, Álvaro.
Departamento de Tecnología de la Edificación (5420).
Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica - U.P.M.
Grupo *Energía, Edificación y Patrimonio*.

RESUMEN

La presente ponencia versa sobre los diferentes métodos empleados en la unión de estructuras metálicas a lo largo de la historia de estas.
La casi totalidad de las estructuras metálicas están formadas por diferentes elementos, o perfiles simples, que se unen entre sí para formar las estructuras. Esta resistencia global solo se podrá lograr si garantizamos la correcta unión de los elementos y la transmisión de esfuerzos de unos a otros.
Se analizan diversos tipos de unión, tanto de carácter fijo, como remaches y soldaduras, y otros desmontables; tornillos. Los remaches han sido el elemento de unión más empleado, pero sustituido hace tiempo por la unión mediante soldadura. Los tornillos son empleados generalmente en uniones provisionales y de montaje, o en lugares donde no se dispone de la energía eléctrica necesaria para la ejecución de las soldaduras.
Cabe por último indicar otro tipo de unión, que es el de los tornillos de alta resistencia. Es el método de unión aparecido más recientemente y aunque semejante a las uniones remachadas y/o atornilladas resulta diferente en lo que respecta a la forma de transmisión de esfuerzos.
En la ponencia se desarrollan la historia, las características, los comportamientos y algunos detalles constructivos de cada una de las uniones citadas anteriormente.

ÍNDICE

1.- Introducción

En todo tipo de construcción metálica, y más concretamente en el caso de las estructuras metálicas de edificación resulta necesario enlazar entre si perfiles simples para formar barras compuestas, como también es necesario fijar las barras, ya sean simples o compuestas, en su posición definitiva dentro del conjunto de la construcción.

Denominamos uniones, o costuras de fuerza, a las que tienen por misión fundamental la transmisión de cargas de un perfil a otro, o de una barra a otra, y uniones o costuras de simple acoplamiento a aquellas cuya misión principal es la de mantener unidos entre si los perfiles que forman una barra compuesta.

Los empalmes empleados en las uniones de barras o perfiles en prolongación se consideran, a todos los efectos, como uniones de fuerza.

Cualquier unión es siempre un punto delicado en una estructura metálica y por ello es necesario preverlas todas en el proyecto, no autorizando durante su ejecución más empalmes y uniones que

aquellos que se especifiquen, y en los sitios que se hayan definido. Como es natural, esta recomendación es fundamental para los empalmes, ya que las uniones entre barras, dan lugar a los nudos y estos siempre deben tener una situación clara y perfectamente definida.

Debido a que hemos definido las uniones como puntos críticos de una estructura, su número debe reducirse al mínimo necesario, así como tratar de ejecutarlas con toda clase de garantías. La garantía de calidad es mayor al realizar las uniones en taller, frente a la obra, por lo que se procurará reducir al mínimo las que hayan de efectuarse en el tajo, siendo para esto muy importante una buena coordinación entre el proyectista y el constructor de la estructura. El peligro de defectos es mayor, para las uniones de obra, cuando se utiliza la soldadura como medio de unión, frente a otros sistemas, por lo que resulta muy recomendable hacer las uniones de montaje mediante atornillado, ya que así se asegura una mayor calidad, sin que sea necesario depender de una mano de obra muy cualificada.

Para calcular los elementos de unión se determinarán las solicitaciones que sobre ellos actúan y se acomodaran a las mismas hipótesis consideradas en el cálculo del conjunto de la estructura o de sus elementos. En cada unión se estudiará la forma de realizarla con el menor número de elementos, de forma que la transmisión de esfuerzos se verifique correctamente y se reduzcan al mínimo los esfuerzos secundarios. En cuanto al coeficiente de seguridad que se aplique a la unión, este deberá ser el mismo que se ha adoptado para el cálculo de la estructura, o bien para las barras a que sirva de enlace. Únicamente en uniones de montaje, que deban realizarse en condiciones difíciles, deberá aumentarse prudencialmente el coeficiente de seguridad, para así prever posibles defectos en su ejecución.

Cuando las barras estén comprimidas puede permitirse que la transmisión de esfuerzos se realice por contacto directo, siempre que las superficies que hayan de estar en contacto estén debidamente mecanizadas para así asegurarlo y evitar concentraciones de tensiones que aparecerían de otra forma.

Cuando se dispongan empalmes de barras, que en general deben evitarse, salvo que sean necesarios y estén previstos en el proyecto, los elementos y medios de unión que hayan de constituir dicho empalme se tienen que dimensionar para que resistan el esfuerzo que ha de transmitirse a través de la unión, o bien para que puedan transmitir el esfuerzo máximo que la sección de la pieza empalmada puede aceptar en tal punto. En general, en los empalmes, cuando los cubrejuntas o elementos análogos posean, como mínimo, los mismos valores estáticos que la barra empalmada, no se hace necesaria la comprobación del empalme en cuanto a tales - elementos se refiere, aunque sí es necesario comprobar los medios de unión en sí.

2.- Evolución histórica

Los medios de unión han marcado, de manera importante, el avance que ha experimentado la construcción de estructuras metálicas desde que se empezó a utilizar el acero laminado en 1856 hasta nuestros días.

El primer medio de enlace que aparece es el roblón, elemento que trabaja a cortadura y aplastamiento. En la actualidad es muy raro, por no decir que imposible, encontrar esta técnica de unión en construcción de estructuras. Ha quedado apartada a causa de los inconvenientes que presenta; mala distribución tensional en la junta, mal aprovechamiento de los materiales en piezas traccionadas, poca seguridad de rigidez en las uniones, ya que los roblones pueden quedar "sueltos" e imposibilidad de realizar un cálculo exacto, así como medios de construcción costosos.

Tras los roblones se desarrollaron las uniones mediante los tornillos, en sus modalidades de tornillos ordinarios y calibrados. Su finalidad fundamental era obtener uniones desmontables. Sus inconvenientes son análogos a los de las uniones roblonadas y, por tanto, su empleo no es muy extenso en edificación, donde se buscan uniones estructurales permanentes.

En 1910 irrumpe en el mundo de la construcción metálica una nueva técnica de enlace: La soldadura. Conocida desde antes, no hace su entrada hasta ese año porque entonces se desarrollan los electrodos revestidos que depositan un metal de altas características mecánicas. Esta técnica de enlace va, poco a poco, sustituyendo al remachado hasta hacerlo desaparecer casi por completo. Las ventajas que presenta son claras, y de entre ellas las más importantes, son la de poder utilizar todo el material para piezas traccionadas; posibilidad de uniones a tope con una mejor distribución tensional en la misma y, como consecuencia de todo esto, proyecto de estructuras más ligeras; posibilidad fácil de formación de sólidos de igual resistencia; posibilidad de formación de uniones rígidas y estructuras homogéneas y continuas, etc. También tiene inconvenientes, principalmente los peligros de introducción de tensiones internas (producto del ciclo térmico del soldeo), y de rotura frágil y por fatiga, ésta última se produce en piezas solicitadas por cargas dinámicas.

Los tornillos hacen de nuevo su aparición en el campo de las construcciones metálicas en su modalidad de tornillos de alta resistencia, pretensados. Dado el concepto de su utilización, puede considerarse como una técnica de enlace relativamente nueva. Una junta de este tipo hace trabajar al tornillo a tracción y a la junta en sí por rozamiento, a causa de la gran presión de contacto que engendra la apretadura del tornillo. Se producen uniones aptas para resistir toda clase de solicitaciones, incluso momentos, y por tanto pueden utilizarse para la formación de nudos rígidos. Todos los tornillos que forman la junta trabajan simultáneamente, ya que, como se ha dicho, las solicitaciones quedan resistidas por el rozamiento entre las chapas. Por esta razón pueden emplearse en uniones mixtas, en combinación con soldadura y en caso de reparación y refuerzo de estructuras ya existentes.

En la actual construcción metálica los tornillos de alta resistencia constituyen el medio más extendido de unión en obra, junto con la soldadura. Su técnica está bastante estudiada y sigue en experimentación continua, pero como ya se ha dicho, es una técnica de enlace solo "relativamente" nueva.

Existe otra técnica de unión de estructuras metálicas, que solamente se ha empleado en plan experimental, que es la unión por encoladura de piezas metálicas mediante el empleo de adhesivos. Las características de las uniones así logradas auguran un gran éxito a esta técnica. Se utilizó por primera vez en gran escala en las estructuras de construcciones aeronáuticas en aleaciones ligeras. Desde ahí se ha pasado a utilizar en uniones entre piezas de acero. La ventaja que presenta, respecto a la soldadura, es que no produce modificaciones estructurales en el metal de base; con respecto al remachado, su ventaja es la de aprovechar la sección completa de las piezas. Como ventaja presenta también una buena uniformidad en la distribución de tensiones a lo largo de la junta. Entre los inconvenientes, quizás el principal sea el de su falta de resistencia a temperaturas superiores a 250 ºC.

2.1.- Roblonado

Un remache consiste en una espiga de diámetro ø, provista de una cabeza de asiento, que está destinada a introducirse a través de las piezas a enlazar, previamente perforadas, de forma que -una vez introducido se le forme una segunda cabeza que efectúe el cierre de la unión. Cuando se ha formado esta segunda cabeza el remache se ha transformado en un roblón. La segunda cabeza, o cabeza de cierre, se forma mediante estampación en caliente del extremo libre de la espiga. Esta estampación puede hacerse a mano o mecánicamente, utilizando prensas hidráulicas o herramientas de aire comprimido.

Los roblones que se utilizaban normalmente en la construcción de estructuras metálicas son los de cabeza semiesférica. Los agujeros para el roblonado deben ser de 1 mm mayor que el diámetro nominal del remache. Esto es una regla general para el dimensionado de los agujeros.

Los agujeros en las piezas deberán hacerse siempre mediante taladrado y no por punzonado, debido a la acritud que esta operación introduce y que puede dar lugar a roturas. Únicamente es admisible el punzonado en chapas finas, de hasta 10 mm de espesor. El taladro inicial debe

realizarse de diámetro algo menor que el definido, para hacer luego una presentación o montaje inicial de las piezas y terminar el agujero hasta que se alcance su diámetro definitivo por escariado. El tener agujeros más grandes de lo estrictamente necesario representa un gran peligro, ya que la espiga del remache no lo llenará por completo y no serán reales las hipótesis de cálculo.

La longitud de la espiga deberá elegirse de forma que al ser colocado, en el proceso de formación de la cabeza, se rellene completamente el agujero al producirse la recalcadura o forja de la espiga y además se obtenga la cabeza de las dimensiones adecuadas.

Ejecución: En el proceso de roblonado, en primer lugar se calientan los remaches en un hornillo de hasta que se alcanza una temperatura correspondiente al rojo cereza claro. Antes de introducir el remache en el agujero se le libera de la cascarilla que se haya podido formar sobre su superficie. Durante el roblonado propiamente dicho, se mantiene la cabeza de asiento sujeta mediante la sufridera, mientras que el doile o estampa, accionado casi siempre por aire comprimido, recalca primero la espiga para que así rellene todo el agujero, y después forja la cabeza de cierre. Todo el proceso ha de realizarse muy rápidamente, ya que al terminar la operación, la temperatura debe conservarse en la correspondiente al rojo sombra.

Forma de trabajo: Los roblones constituyen medios de unión puntuales que están solicitados por cortadura o esfuerzo cortante y por aplastamiento, o sea, por la compresión de la espiga contra las paredes de los agujeros.

2.2.- Atornillado

Para formar uniones desmontables, así como para lograr una mayor velocidad de ejecución de las uniones, se utilizan los tornillos.

Se distinguen tres clases de tornillos: Los ordinarios o tornillos negros; los calibrados o ajustados y los de alta resistencia, que tienen su estudio separado, ya que producen una unión diferente a los dos primeros.

La forma de trabajar de los tornillos es análoga a la de los roblones, de ahí que el cálculo de las costuras atornilladas, así como su morfología, sean las mismas y se puedan estudiar de manera conjunta.

Tornillos calibrados; se exige para los diámetros del agujero y de la espiga un ajuste H 11/ h 11. Para estructuras, y para tornillos de diámetros entre 20 y 30 mm, se admite una holgura de 0,3 mm entre espiga y agujero.

Tornillos ordinarios; los tornillos que no cumplen las condiciones indicadas anteriormente para los tornillos calibrados se designan como tornillos negros u ordinarios.

Arandelas; es obligatorio su uso, para evitar que la rosca o su terminal penetren en el agujero y se produzcan tensiones adicionales a las calculadas por aplastamiento.

Cuando la construcción esté solicitada por esfuerzos dinámicos, se emplearán arandelas de seguridad.

Agujeros; estos tendrán un diámetro de agujero 1 mm mayor que el nominal del tornillo, o sea, que el de su espiga, redondeando el valor en milímetros.

2.3.- Tornillos de alta resistencia

En estas uniones, de concepción diferente a las atornilladas con tornillos normales ordinarios, negros o calibrados, las costuras se realizan mediante tornillos denominados de alta resistencia o AR, apretados fuertemente con el fin de engendrar una gran reacción de

rozamiento entre las superficies en contacto y aprovechar esta reacción de rozamiento para la transmisión de los esfuerzos de los perfiles unidos.

Una característica importante de los tornillos de alta resistencia es que se introducen con una pequeña holgura en las piezas a unir, para luego tensarlos mediante apretadura de la tuerca o cabeza, para así producir una presión importante entre las superficies en contacto, que es lo que da lugar a la gran reacción de rozamiento de que hablába en el párrafo anterior. El esfuerzo, orientado perpendicularmente al vástago o espiga del tornillo, se transmite entre los elementos por el rozamiento estático de las superficies, mientras que el vástago del tornillo queda solicitado por tracción axil y por torsión, como consecuencia del momento de apretadura que se aplica.

Si se incrementa el esfuerzo que solicita a la unión es muy probable que se pueda llegar a sobrepasar la resistencia de rozamiento. Si esto sucede, el movimiento que se inicia hace que los vástagos de los tornillos entren en contacto con los bordes de los agujeros y entonces la transmisión del esfuerzo se lleva a cabo, además de por rozamiento, por cortadura, aunque este esfuerzo sea, en general, de tan poca magnitud que, no se llega a producir la rotura por cortante debido a la gran resistencia del material del tornillo.

Caso de que la carga siga aumentando y se llegue a sobrepasar el valor del limite elástico de los elementos unidos, puede desaparecer parcialmente el pretensado de los tornillos como consecuencia de la estricción, aunque este fenómeno se puede considerar igualmente despreciable.

Los tornillos AR difieren de los tornillos ordinarios solo en que el redondeo de acuerdo entre vástago y arandela será como mínimo de r = 1 mm para ø 14 mm; r = 1,5 mm para ø 16 a ø 20; r = 2 mm para ø 22. Además, la tolerancia será basta para la cabeza y vástago y media para la - rosca.

Este medio de unión se empleará siempre con arandelas bajo la cabeza y bajo la tuerca y serán de espesores acordes a los tornillos empleados

2.4.- Soldadura

Soldar es unir dos piezas de igual o distinta naturaleza mediante una perfecta unión entre ellas, casi siempre con la aportación de calor, con o sin aplicación de presión, y con o sin empleo de material de aportación, pudiendo tener este la misma o distinta composición que los metales a unir.

El procedimiento de soldadura más antiguo entre los conocidos es el de soldadura por forja, que consiste en calentar las piezas a unir hasta su punto de fusión, para luego unirlas entre sí por presión.

Actualmente la soldadura se realiza de diversas maneras; aprovechando el calor generado por la combustión de un gas, generalmente acetileno, en una atmósfera de oxígeno; por el generado por el paso de una corriente eléctrica aprovechando el efecto Joule o el producido por el calor desarrollado en un arco eléctrico. En la actualidad estos son los procedimientos empleados industrialmente, aunque incluyen diversas variantes que en nada afectan su naturaleza esencial. Mediante el empleo de estos tres sistemas básicos se pueden soldar toda clase de metales y aleaciones, con muy pocas excepciones.

De estos sistemas nace una gran diversidad de procedimientos. Los de mayor interés industrial son los derivados del sistema de soldeo por arco, aunque también tienen gran importancia los de soldeo por resistencia, procedimiento que también comentaremos.

En cuanto a la soldadura eléctrica por arco, que es el sistema de mayor importancia industrial entre todos los que existen, puede decirse que comenzó al descubrirse el arco eléctrico, por Sir Humphrey Davy, en la primera parte del siglo XIX. En 1801 Sir Humphrey Davy vió que al acercar

los terminales de un circuito eléctrico de una tensión relativamente baja, saltaba entre ellos un arco de una luz cegadora y que además producía una gran cantidad de calor. El tamaño e intensidad de dicho arco dependía del tiempo y naturaleza de los terminales empleados.

El arco eléctrico permaneció como una curiosidad científica hasta que en 1881 se descubrió la lámpara de arco voltaico, y cinco años después, en 1886, se instaló el primer horno por arco con fines metalúrgicos en Milton Stafordshire (EE.UU.) para poder obtener aluminio a partir de la alúmina que.

Realmente la unión de metales por el procedimiento del arco eléctrico data del año 1881, en que un inventor norteamericano, que se llamaba De Meritens, empleaba el calor general en un arco de carbón para unir unas piezas. A partir de entonces aparecen los procedimientos de Zerener, Bernardos y Slavianoff.

De todos éstos puede decirse que el precursor del método empleado en la actualidad es el de Slavianoff, en el que se emplea un electrodo metálico por primera vez, en lugar de los electrodos de carbón.

Poco a poco, el procedimiento de unión por soldadura fue avanzando y en 1902 un taller de Locomotoras de Pensilvania (EE.UU.) aplicó el procedimiento de electrodo de carbón en gran escala a sus talleres de reparación. En 1906 la firma "Lloyd & Lloyd", de Birmingham (Inglaterra), estableció un taller de soldadura con todos los adelantos conocidos entonces y en 1910, en Suecia, Oscar Kjellber, inventó el electrodo revestido. Antes de esto, los electrodos empleados eran de acero extrasuave, conocido como "acero sueco" que producía soldaduras frágiles y débiles. El arco sobrecalentaba y quemaba el metal de soldadura y este se hacía frágil al reaccionar con el oxígeno, el nitrógeno y el hidrógeno del aire. La manera de evitar esto era producir "algo" que recubriera al electrodo de tal forma que el aire no pudiera ponerse en contacto con el metal aportado en la soldadura. Este recubrimiento, además de impedir el acceso del aire al arco "protegiéndolo", sirve para ayudar a saltar el arco entre la pieza y el electrodo.

Con la primera guerra mundial la soldadura tuvo un gran auge, y ya en el año 1920 se fabricó el primer barco completamente soldado. La técnica del soldeo continuó su rápida evolución y ya en la segunda gran guerra se puede decir que la casi totalidad construcción metálica se resuelve mediante uniones soldadas, sin empleo de remaches, con un considerable ahorro de material, y, por consiguiente, de dinero.

Existe otro tipo de soldadura, la soldadura por fusión. Son aquéllas en que la unión se efectúa mediante la fusión de un determinado metal que se aporta para constituir el enlace o unión entre las piezas. Ese enlace se denomina cordón de soldadura, o simplemente, soldadura. En la figura adjunta se muestran, esquemáticamente, unos cordones de soldadura realizados, el primero a tope entre dos chapas con sus bordes preparados, y el segundo, entre chapas para formar una unión en ángulo.

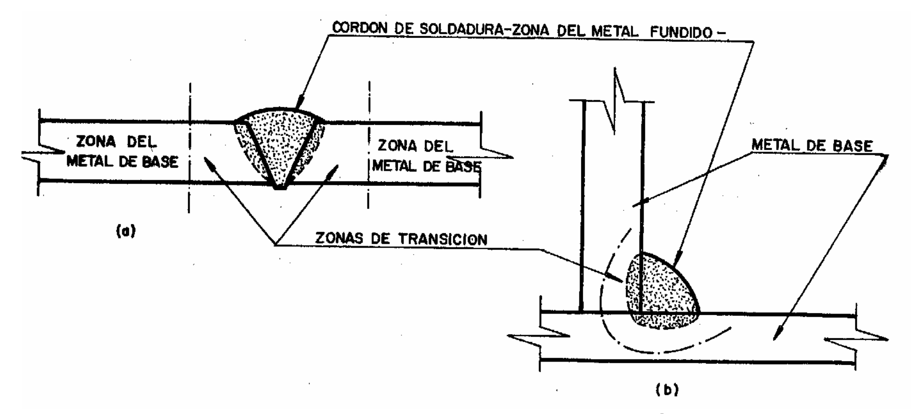


Figura 01. Soldadura a tope y en ángulo

En cualquier unión soldada aparecen, al hacer un examen radiográfico, dos partes totalmente definidas y otra que hace de unión entre ellas. Las dos primeras las constituyen la zona del metal fundido y la del metal de base, y la intermedia es la llamada zona de transición.

La zona del metal fundido está constituida por el metal aportado y el propio metal de base que se ha solidificado partiendo del estado liquido y ha sufrido una serie de transformaciones, tanto de orden químico y físico como estructural.

La zona de transición se compone por una mezcla del metal de base y metal de aportación en la cual se han desarrollado también procesos térmicos que han conducido a transformaciones estructurales que extienden esta zona incluso dentro del llamado metal de base. Las transformaciones que en esta zona se operan son de gran importancia para la consecución de un buen resultado en la soldadura, y son las que en gran parte determinan la aparición de fisuras y de otro tipo de defectos.

La zona del metal de base sufre solo variaciones de temperatura entre las cuales la mayoría de los metales o aleaciones no presentan cambios físico-químicos o estructurales.

3.- Comportamiento de las uniones

Como ya se mencionó al inicio, las uniones tienen, dentro de los proyectos de las construcciones metálicas, especial importancia y dificultad. Cualquier unión es una zona particularmente peligrosa y la mayoría de los accidentes son debidos a uniones mal proyectadas o mal ejecutadas.

Es muy sintetizar todos los modelos de unión que pueden presentarse. Los criterios de proyecto y ejecución evolucionan constantemente y dependen, además, del proceso de fabricación, transporte y montaje.

Dada su importancia conceptual y económica, ya que aproximadamente representan el 40% del importe de la estructura, han de concebirse del modo más sencillo posible, eliminando elementos innecesarios y procurando unificar y tipificar al máximo los diferentes modelos.

Puede resultar extraño a primera vista indicar que detalles constructivos con mayor cantidad de acero pueden resultar más económicos que otros, con menos, pero con mayores exigencias de mano de obra. Una basa de un pilar formada por una sola placa gruesa sin cartelas puede ser más económica que la de otra basa fina acartelada.

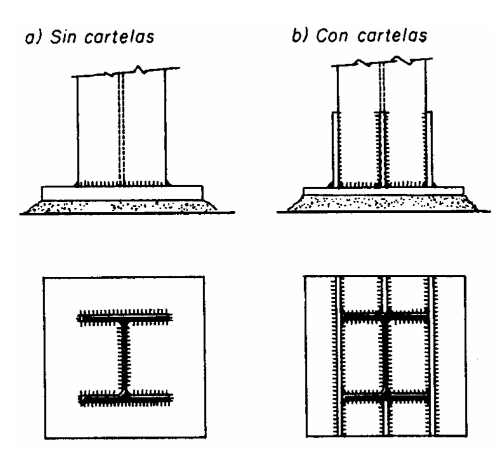


Figura 02. Economía de ejecución

El análisis de las uniones, posiblemente, sea la parte más difícil de la construcción metálica. En ellas hay una concentración de esfuerzos muy importantes y la evaluación de las tensiones y deformaciones que se presentan solamente pueden obtenerse mediante el análisis experimental, o utilizando métodos numéricos en el campo elastoplástico. De los resultados obtenidos se desprenden procedimientos simplificados que son los que normalmente se utilizan en la práctica.

El estudio de una determinada unión comprende su diseño, el análisis de los esfuerzos que ha de resistir y, en función de éstos, el cálculo de los elementos y medios de unión que la componen, tales como cartelas, casquillos, cordones de soldadura o tornillos.

3.1.- Clasificación de uniones metálicas

En función de su capacidad de resistencia tenemos:
- Uniones de resistencia total, en las que su capacidad de carga es igual o superior a la del elemento más débil de la unión.
- Uniones de resistencia parcial, aquellas que su capacidad de carga es inferior a la del elemento más débil de la unión pero, lógicamente, superior a los esfuerzos de cálculo.

Las uniones resistentes a esfuerzo de flexión podemos clasificarlas como:
- Rígidas, las que mantienen los ángulos que forman entre sí las piezas enlazadas. El giro del nudo es igual al de las barras a él unidas.
- Semirrígidas, son las uniones flexibles en las que se produce un giro relativo entre las barras enlazadas en el nudo, pero existiendo una transmisión de momentos. Para modelizar este tipo de enlace se unen las barras a los nudos mediante muelles que coartan el giro.
- Simples, son enlaces que se comportan como uniones articuladas, en los que la barra se une al nudo sin coartar sus giros.

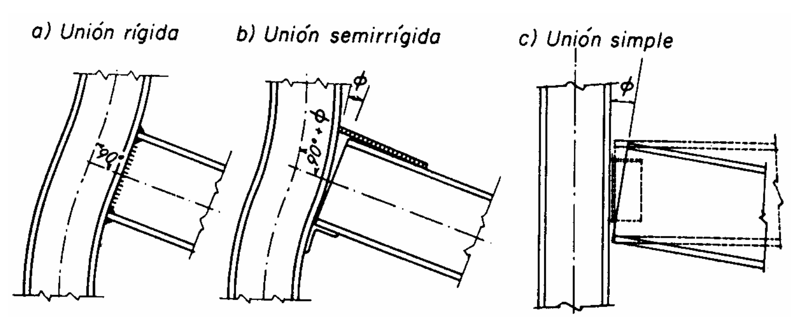


Figura 03. Uniones resistentes a flexión

Todas las uniones tienen que tener un comportamiento suficientemente dúctil, capaz de desarrollar su capacidad resistente en el rango plástico sin que se presente un fallo prematuro motivado por una deformación excesiva.

En la figura siguiente se muestran tres diferentes uniones de una barra traccionada, formada por dos perfiles UPN, enlazada a dos cartelas.

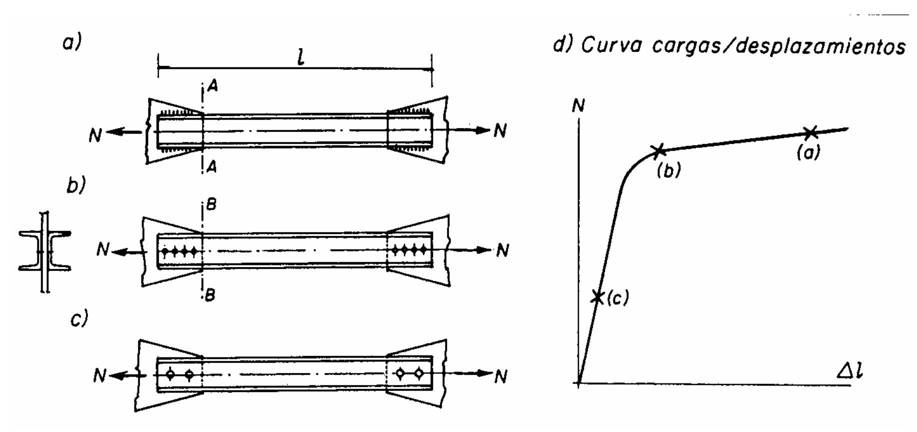


Figura 04. Curva carga - desplazamiento

- Unión a): La unión soldada es totalmente resistente. La curva carga - desplazamiento alcanza prácticamente la deformación máxima coincidiendo con la plastificación de la sección.
- Unión b): La unión atornillada desarrolla también la totalidad de la capacidad de carga de la

barra, pero su comportamiento, al cortarse la barra por la sección debilitada por los taladros, es frágil. En este caso no es posible aprovechar la capacidad plástica de los elementos enlazados, ni realizar un cálculo plástico con la redistribución de esfuerzos que conlleva.
- Unión c): La otra unión atornillada es parcialmente resistente y por lo tanto un punto débil en la estructura. El fallo de la unión no permite desarrollar, siquiera, la capacidad de carga de la barra cuya tensión no alcanza el límite elástico, ya que antes se presenta el fallo de la unión.

3.2.- Uniones viga – soporte

Son las uniones que se producen entre un elemento estructural, trabajando a flexión y cortadura, que transmite sus cargas a otro, sometido principalmente a compresión. El Código Técnico de la Edificación clasifica las uniones en función de su rigidez y de su resistencia, así tendremos:

En función de su rigidez:
- Nominalmente articuladas; son aquellas en las que no se desarrollan momentos significativos que puedan afectar a los miembros de la estructura. Tienen que ser capaces de transmitir las fuerzas y de soportar los giros de cálculo.
- Rígidas; aquellas cuya deformación no tiene influencia significativa sobre la distribución de esfuerzos en la estructura, ni sobre su deformación global. Tienen que ser capaces de transmitir las fuerzas y momentos de cálculo.
- Semirrígidas; las que no son rígidas ni nominalmente articuladas.

En ausencia de análisis precisos se pueden considerar como:
- Articuladas; las uniones “por soldadura” del alma de una viga metálica en doble T sin unión de las alas al pilar. Nótese que aunque el Código Técnico indica únicamente la unión mediante soldadura, el medio puede ser otro (uniones atornilladas).
- Rígidas; Las uniones “soldadas” de vigas en doble T a soportes en las que se materialice la continuidad de las alas a través del soporte mediante rigidizadores de dimensiones análogas a las de las alas.

Otra clasificación, como he indicado, es en función de su resistencia:
- Nominalmente articuladas; aquellas capaces de transmitir los esfuerzos obtenidos en el análisis global de la estructura y su resistencia de cálculo a flexión no es mayor de la cuarta parte del momento resistente plástico de cálculo de la pieza de menor resistencia unida y siempre que exista una capacidad de giro suficiente.
- Totalmente resistentes o de resistencia completa; su resistencia es igual o superior que la de los elementos que conecta.
- Parcialmente resistentes; su resistencia es inferior que la de los elementos unidos, pero siempre debe ser capaz de transmitir las fuerzas y momentos obtenidos en el análisis de la estructura.

3.2.1.- Uniones viga – soporte soldadas articuladas

Es conveniente realizar la unión por medio de angulares, debido a la dificultad de conseguir la necesaria exactitud dimensional. Nunca deben soldarse las alas y, además, la longitud de los cordones debe ser la requerida estrictamente por el cálculo.

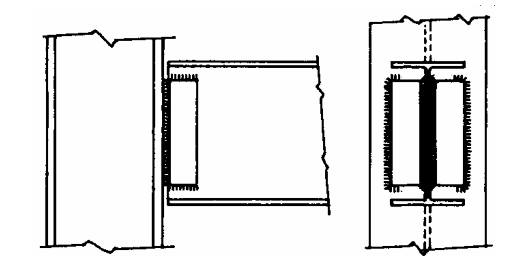


Figura 05. Unión soldada articulada

Si la unión se realiza soldando directamente el alma de la viga a la columna mediante cordones en ángulo la disposición será la de la figura inferior, recomendándose como valor de la longitud del cordón de soldadura, l_v, el comprendido entre la mitad y dos tercios de la altura útil del alma. Una longitud de soldadura superior a este valor hace que esta unión no sea considerable como articulada, ya que se crea un momento de empotramiento que, al no ser despreciable, puede originar el agrietamiento de la soldadura.

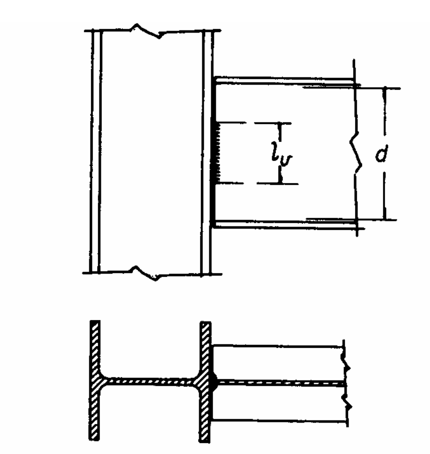


Figura 06. Unión soldada articulada

3.2.2.- Uniones viga – soporte atornilladas articuladas

Es, posiblemente, la unión más aconsejable si la unión se tiene que realizar en obra. La unión al pilar y el juego que proporcionan los tornillos permiten considerar este enlace como una articulación. La unión se ejecuta enlazando el alma de la viga con dos angulares con el ala o alma del pilar.

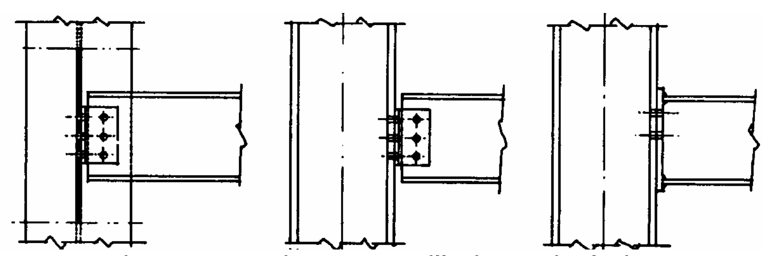


Figura 07. Uniones atornilladas articuladas

En los tres ejemplos anteriores se transmite un momento flector tan pequeño que la unión responde, a efectos prácticos, como una articulación. Además los ensayos y la experiencia adquirida han confirmado que estas uniones permiten las rotaciones necesarias que exigen los cálculos teóricos para ser consideradas de todo punto como articuladas.

3.2.3.- Uniones viga – soporte sobre casquillos

Otro tipo de uniones son las que emplean un casquillo de apoyo sobre el que descansa la viga.

Cuando en el enlace viga-columna se dispone un angular de asiento, este se deforma quedando solicitado bajo tensiones de flexión provocadas por la carga de la viga. Con ángulos de reducido espesor la parte superior de la unión tiende a fallar por flexión.

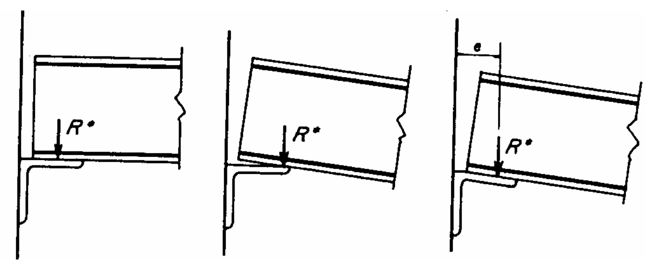


Figura 08. Apoyos sobre angulares

En este tipo de uniones ese fallo de la unión puede ser fácilmente resuelto, disponiendo otro u otros angulares en la parte superior, para prevenir el vuelco de la viga. Otra posible solución a este tipo de unión es la colocación de casquillos rigidizados para el apoyo.

Si la viga se conecta al alma del soporte, el apoyo debe situarse lo más próximo posible al eje del pilar, para evitar tensiones en su alma debidas a la excentricidad de la carga.

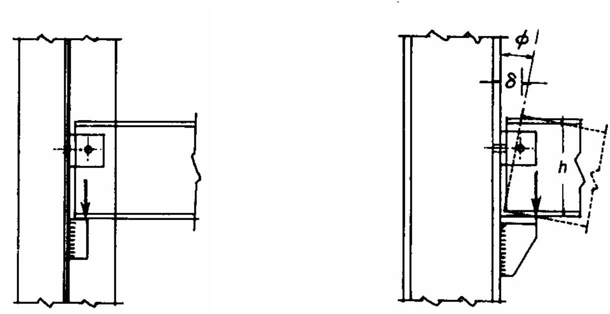


Figura 09. Apoyos sobre casquillos

3.2.4.- Uniones rígidas viga – soporte soldadas

Las vigas se unen a los soportes mediante cordones soldados a tope, realizándose en taller la preparación de los bordes de las alas de la viga, para no tener que realizar en obra cordones de soldadura de techo. Además se disponen casquillos angulares para la fijación provisional de la viga. En el pilar, para transmitir adecuadamente las fuerzas de compresión y de tracción transmitidas por las cabezas de la viga se disponen rigidizadores.

Si por razones de montaje, la viga no ajusta perfectamente sobre la cara de la columna, la unión de las cabezas se efectúa suplementando chapas de igual sección que las alas de la viga, soldadas también a tope al ala del soporte. El esfuerzo cortante es resistido por el casquillo de apoyo o el angular que une el alma del perfil al pilar.

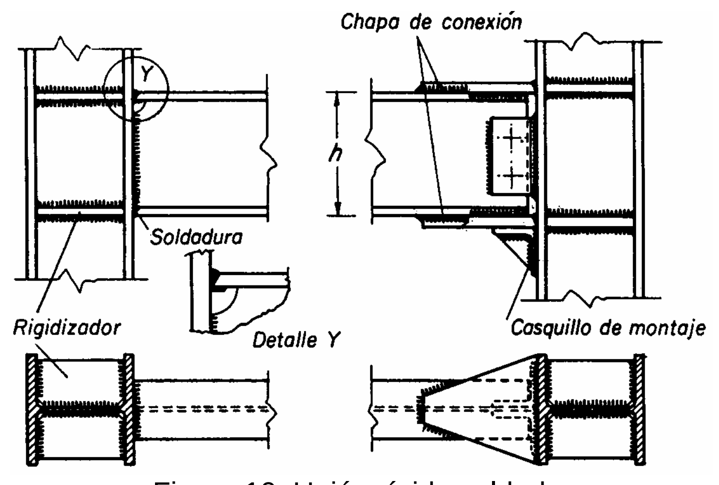


Figura 10. Unión rígida soldada.

3.2.5.- Uniones rígidas viga – soporte atornilladas

Emplearemos este tipo de uniones, como ya hemos dicho anteriormente, para realizar las uniones en obra.

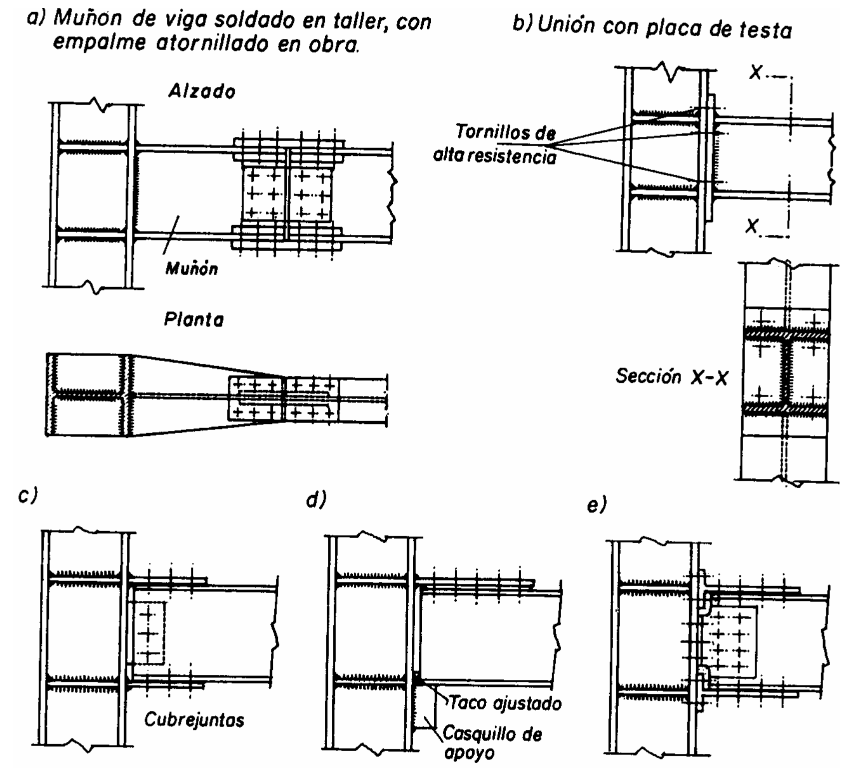


Figura 11. Uniones rígidas atornilladas.

En la figura a) el nudo llega a obra ya ejecutado, y en esta se realiza el empalme de la viga utilizando cubrejuntas atornillados.
La figura b) dispone una placa de testa en el extremo de la viga, para unirse al pilar mediante tornillos de alta resistencia.
En la figura c) se ejecutan en taller los cubrejuntas de alas de la viga y casquillo de placa. Esta disposición puede presentar problemas de desgarro laminar, y también es posible que, como consecuencia de un mal transporte del pilar, las chapas voladas sufran torceduras.
En la figura d) se sustituye el cubrejuntas inferior por un casquillo de apoyo y un taco ajustado.
En la figura e) las posibles dificultades .surgidas de un mal transporte desaparecen al incorporarse al nudo cubrejuntas atornillados, formados por medios perfiles de sección en doble T.

3.3.- Uniones resistentes a tracción

Las uniones de piezas solicitadas a tracción se pueden realizar según los esquemas de la figura siguiente.

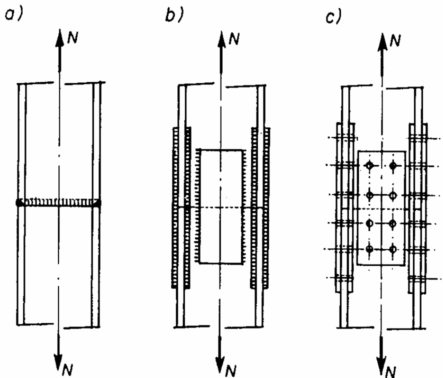


Figura 12. Empalmes en uniones a tracción

La figura a) representa un empalme por soldadura “a tope”, la b) uno con cubrejuntas soldados y el c) mediante cubrejuntas atornillados.
En el caso de los cubrejuntas sus superficies se distribuyen de manera proporcional a las áreas de los elementos que componen los perfiles de base.

En estos tipos de enlaces a tracción es preferible el uso de los empalmes soldados, debido a que las uniones atornilladas pueden fallar frágilmente a lo largo de la sección neta.

3.4.- Uniones resistentes a compresión

Para realizar los empalmes de piezas comprimidas se usan habitualmente nudos similares a los de la figura inferior.

Para las uniones sometidas a estos esfuerzos, el Código Técnico indica que se admitirá la transmisión por contacto en elementos comprimidos únicamente si las superficies en cuestión se han preparado para resultar suficientemente planas y se evita toda posibilidad de desplazamiento en cualquier situación de dimensionado. En este caso, el empalme asegurará la continuidad de rigidez. Si los elementos no se han preparado para transmitir los esfuerzos por contacto, se dimensionarán los elementos de empalme para que sean capaces de transmitir las fuerzas y momentos existentes en la sección de la unión. Se mantendrá la alineación de los extremos enfrentados mediante platabandas u otros medios.

En las estructuras de edificación soldadas los enlaces en obra entre pilares se realizarán por encima del nivel de las alas superiores de las vigas.

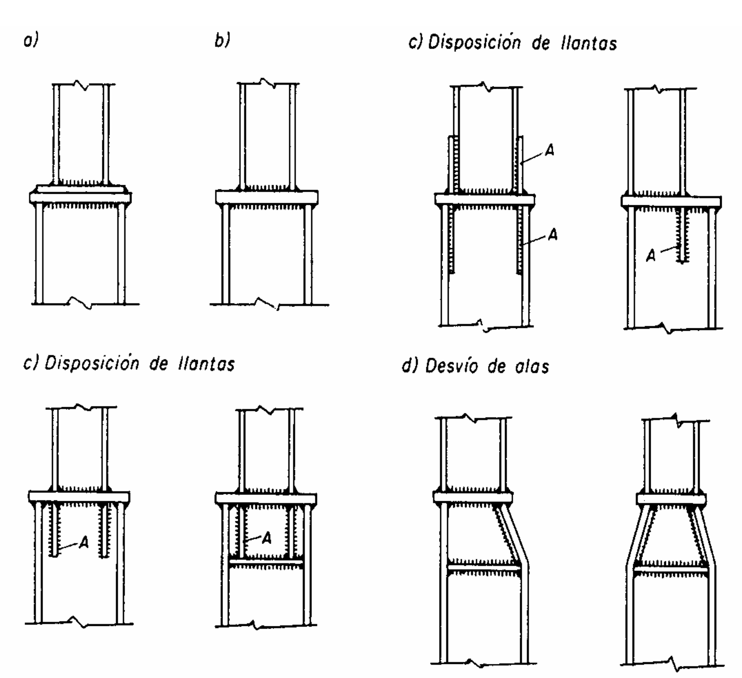


Figura 13. Uniones de pilares

4.- Bibliografía

Código Técnico de la Edificación. Madrid. Edita Boletín Oficial del Estado, Ministerio de la Vivienda. 2006.

Ramiro Rodríguez Borlado. Prontuario de Estructuras Metálicas, 6ª edición. Madrid. Edita Centro de Publicaciones del Ministerio de Fomento. 2002.

Ramón Argüelles Álvarez. Estructuras de Acero, uniones y sistemas estructurales, 1ª edición. Madrid. Edita Bellisco, ediciones técnicas y científicas. 2001.

Francisco Quintero Moreno. Estructuras de Acero, uniones. 2ª edición. Madrid. Edita Fundación Escuela de la Edificación. 1988.

Ramón Argüelles Álvarez. La Estructura Metálica Hoy. 1ª edición. Madrid. Edita Interciencia. 1970.

Rafael de Heredia. Construcciones Metálicas. Madrid. Edita Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. 1969.